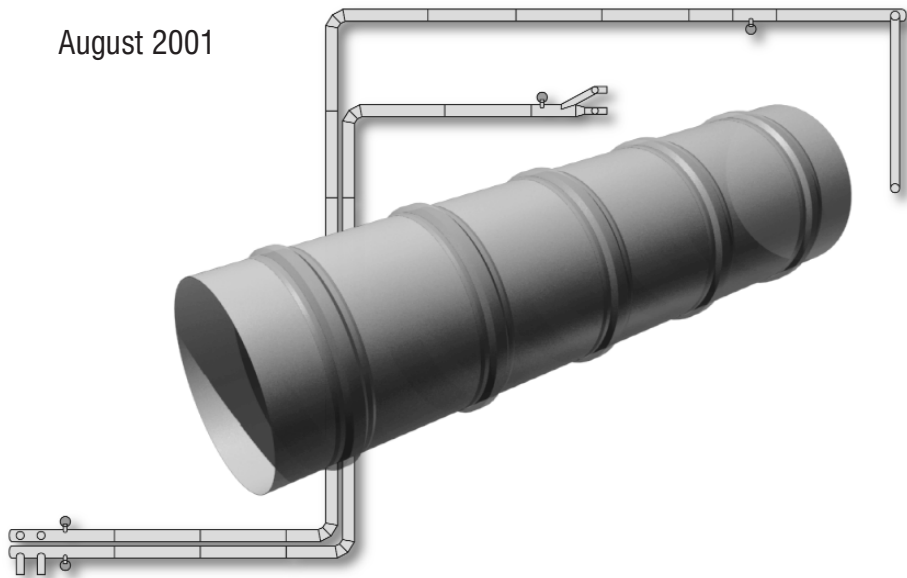


Erdverlegte Kühlwasserleitungen Ø 2000 mm mit längskraftschlüssigen Verbindungssystemen für GuD-Anlagen

Dipl.-Ing. Günter Schun
FIBERDUR-VANCK GmbH, Werk Staffelstein

August 2001



Erfahrungen mit GFK
im Rohrleitungs- und Anlagenbau
3. Tagung 01./02. Oktober 2001 in München

1. Einleitung

Der weltweite Energiebedarf wird zum größten Teil durch die Energieerzeugung von konventionellen Kraftwerken sichergestellt. Hierzu gehören ebenfalls die gerade in jüngster Vergangenheit erstellten Gas- und Dampfkraftwerke (GuD), die aufgrund einiger bauartspezifischen Vorteile auch in Zukunft eine entscheidende Rolle bei der Energieerzeugung spielen werden. Während Kohle- und Kernkraftwerke mit Dampfturbinen ausgerüstet werden, kommen in GuD Kraftwerken sowohl Gas- als auch Dampfturbinen in sinnvoller Schaltung zum Einsatz. Damit wird ein wesentlich besserer Wirkungsgrad erreicht. Neben den allgemein bekannten Emissionen kann so auch der CO₂-Ausstoß verringert werden. Weiterhin sprechen die vergleichsweise kurzen Bauzeiten und die günstigeren spezifischen Investitionskosten für die GuD Kraftwerke. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über einige bekannte Kraftwerkstypen mit den spezifischen Investitionskosten [1]

Kohlekraftwerk	ca. 2000
GuD-Kraftwerk	ca. 1500
Kernkraftwerk	ca. 3000
Wasserkraftwerk	ca. 6000
Windenergiekonverter	ca. 2000

Tbl. 1: Investitionskostenvergleich versch. Kraftwerkstypen

Zur Funktion eines konventionellen Kraftwerkes und somit auch für GuD-Kraftwerke gehört die Kühlwasserleitung. Da diese üblicherweise nicht redundant vorgesehen wird stellt die Kühlwasserleitung bezüglich der Funktionssicherheit ein entscheidendes Bauteil dar.

2. Anforderungen an die Kühlwasserleitung

Bei der im nachfolgenden beschriebenen Kühlwasserleitung wird zwischen der Vorlaufleitung und der Rücklaufleitung unterschieden. Die Vorlaufleitung verbindet die Pumpen, die sich im Pumpenhaus (auch Einlaufbauwerk

genannt) befinden, mit den Kondensatoren im Maschinenhaus. Durch die Rücklaufleitung gelangt das Kühlwasser von den Kondensatoren zum Kühlturm. In dem nachfolgenden Bild ist ein Lageplan eines GuD-Kraftwerkes dargestellt.

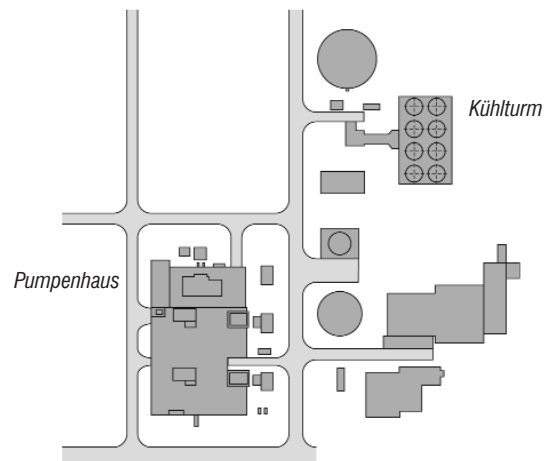


Abb. 1: Lageplan eines GuD-Kraftwerkes

Üblicherweise handelt es sich bei diesen Systemen um erdverlegte Leitungen, die lediglich an den Anschlussstellen den erdverlegten Bereich verlassen. Hieraus ist ersichtlich, dass die einzusetzenden Rohre neben den zu berücksichtigenden Pumpendrücken auch den anstehenden Erdlasten und Verkehrslasten standhalten müssen. Besonderes Augenmerk muss hier auf die Bereiche unterhalb der Verkehrswege gelegt werden. Die für die Kühlwasserleitung verwendeten Rohre unterhalb der Verkehrswege werden in der Regel für den Lastbereich SLW60 ausgelegt.

Der Kraftwerksbetreiber erwartet eine größtmögliche Betriebssicherheit in Verbindung mit einem geringen Wartungsaufwand über den Betriebszeitraum der Anlage. Daher muss der verwendete Rohrwerkstoff bzw. Korrosionsschutz gegenüber dem Kühlwasser eine ausreichende Korrosionsbeständigkeit vorweisen. Da der weitaus größte Teil des Leitungssystems in der Erde verlegt wird, ist auch an der Rohraußenwand für einen guten Korrosionsschutz zu sorgen.

Ein nennenswerter Vorteil von GuD-Kraftwerken besteht darin, dass diese in vergleichsweise kurzer Bauzeit errichtet werden können. Weiterhin zeigt die Erfahrung aus bereits fertiggestellten Anlagen, dass die GuD-Kraftwerke in der Regel auf räumlich beengten Flächen erstellt werden. Hieraus resultieren weitere Anforderungen an die Kühlwasserleitungen wie die flexible Gestaltungsmöglichkeiten des Leitungssystems und Montageablaufs. Es sind mehrere Bauabschnitte notwendig, in denen auch der Weiterbau eines Leitungsabschnittes möglich sein muss.

Die wesentlichen Anforderungen an das Kühlwasserleitungssystem sind im folgenden zusammengestellt:

- flexible Gestaltungsmöglichkeit des Leitungssystems
- flexible Gestaltung des Montageablaufs
- kurze Montagezeiten
- Korrosionsbeständigkeit gegenüber dem Kühlwasser (chloridbelastet)
- widerstandsfähiger Korrosionsschutz an der Rohraußenwand
- ausreichende Steifigkeit der Rohre in den erdverlegten Bereichen (Verkehrslast)
- hohe Zugfestigkeit des Rohrwerkstoffes bei den anstehenden Drücken und Temperaturen
- geringer Wartungsaufwand über die Laufzeit des Kraftwerkes

3. Einsatz von GFK für Kühlwasserleitungen

Die vielfältigen Anforderungen an die Kühlwasserleitungen stellen eine komplexe Herausforderung an den verwendeten Rohrwerkstoff dar. GFK kann als Verbundwerkstoff aus Glas und Harz optimal auf diesen Einsatz abgestimmt werden. Glasfaserverstärkte Kunststoffe haben bereits in den vergangenen 40 Jahren ihre Resistenz gegen chemisch aggressive Medien unter anderem in der

Chemischen Industrie wie auch in den Bereichen der Rauchgasreinigungsanlagen unter Beweis gestellt.

Zur Herstellung von Rohren in den unterschiedlichsten Durchmessern eignet sich im besonderen Maße das Wickelverfahren. Dieses Verfahren ermöglicht eine variable Gestaltung des Wandaufbaus der Rohre und somit eine Optimierung auf den jeweiligen Einsatzfall.

3.1. Wandaufbau der Rohre

Die für Kühlwasserleitungen verwendeten Rohre erhalten eine innere medienbeständige Schutzschicht. Es handelt sich hierbei um eine vliesverstärkte Reinharzschicht die auch als Vliesschicht bezeichnet wird. Die Matrix bildet ein Harz auf Isophthalsäurebasis, das den Schutz vor den korrosiven Bestandteilen im Kühlwasser darstellt.

Das für die statische Auslegung der Rohre wichtige "Traglaminat" [2][3] wird im Wickelverfahren hergestellt. Im Wickelprozeß werden die Verstärkungswerkstoffe in Form von Textilglasroving und -gewebe in die Matrix aus einem Orthophthalsäureharz eingebettet. Es entsteht so ein mehrlagiger Wandaufbau, der kontinuierlich bis zum Erreichen der statisch notwendigen Rohrwanddicke aufgewickelt wird.

Zum Schutz des Traglaminates wird auf die Rohraußenwand eine Reinharzschicht aufgebracht. Das nachfolgende Bild zeigt den Laminataufbau eines Rohres:

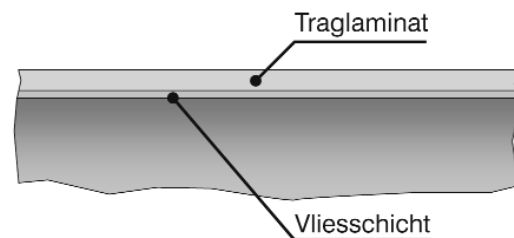


Abb. 2: Laminataufbau eines GFK-Rohres

Aufgrund des eingesetzten Herstellverfahrens werden im beschriebenen Traglaminat hohe Festigkeitskennwerte erreicht. Das Entscheidende hierbei ist jedoch, dass diese

hohen Kennwerte auch bei den üblichen Betriebstemperaturen von 50° bis 60° C zur Verfügung stehen und somit eine statische Bemessung der Rohre für die anstehenden Betriebsdrücke in Umfangsrichtung und in Axialrichtung ermöglichen.

Eine Erhöhung der Steifigkeit wird durch das Aufwickeln von Rippen in Umfangsrichtung der Rohre erreicht. Hierbei kommen zwei Grundformen zum Einsatz die im nachfolgenden Bild dargestellt sind.

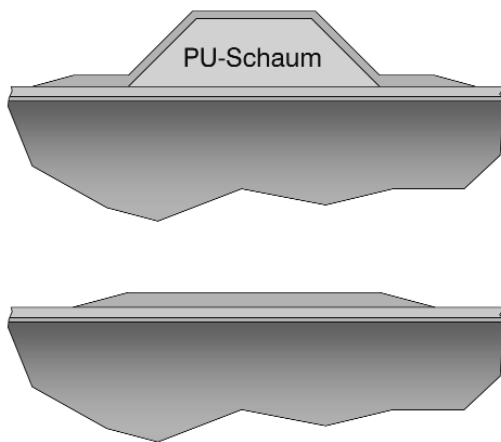


Abb. 3: Rippentypen zur Erhöhung der Steifigkeit

Die gezeigten Rippenverstärkungen werden entsprechend der statischen Erfordernissen je nach Rohrdurchmesser in einem Abstand von 1500 bis 2500 mm ausgeführt. Als guter Richtwert gilt ein Rippenabstand von $l_R < \text{Rohrdurchmesser}$.

3.2. Scheiteldrucksteifigkeit

Der entscheidende Kennwert zur Beschreibung der erdverlegten Rohre ist die in der DIN 16870 T1 beschriebene Scheiteldrucksteifigkeit. Neben dem E-Modul des Rohrwerkstoffes geht hier das Flächenträgheitsmoment I_R der Rohrwandung um die Mittelachse des Rohres ein. Unter der Voraussetzung, dass der Rippenabstand $l_R < D$ ist, kann die Rippe bei der Ermittlung des Flächenträg-

heitsmomentes berücksichtigt werden. Somit ist die Scheiteldrucksteifigkeit des rippenversteiften Rohres wie folgt zu berechnen:

$$SN = E_R \times I_R / (l_R \times d_m^3)$$

E_R = E-Modul in Umfangsrichtung

I_R = Flächenträgheitsmoment der Rohrwand (einschl. Rippe) um die Rohrachse

l_R = Rippenabstand (< Rohrdurchmesser)

d_m = mittlere Rohrdurchmesser

Das nachfolgende Bild zeigt ein rippenversteiftes Rohr.



Abb. 4: GFK-Rohr, rippenversteift

3.3. Montage und Verbinden der Rohre

Die gewickelten Rohre erreichen aufgrund der Orientierung der Verstärkungsfasern im Laminataufbau hohe Festigkeitskennwerte in axialer Richtung. Daher ist das Verbinden der Rohre untereinander durch ein längskraftschlüssiges System möglich. Die Rohrwandung ist in der Lage die aus dem Betriebsüberdruck entstehenden Kräfte in axialer Richtung aufzunehmen. Die Verbindung erfolgt mit einem Überlaminat, das sowohl im Herstellerwerk als auch auf der Baustelle aufgebracht werden kann. Die Gestaltung von Segmentbögen, Abzweigungen und sonstigen Formteilen ist durch diese Verbindungstechnik recht einfach zu realisieren (Abb. 5).

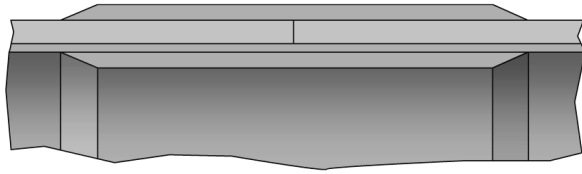


Abb. 5: Überlaminatverbindung

Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass diese Lamiantverbindungen auf der Baustelle ausgeführt werden können und so ein Weiterbau nach einem Montagestillstand oder eine Nachrüstung ermöglichen.

Bei nicht längskraftschlüssigen Systemen (z.B. Muffen) sind zur Aufnahme der Axialkräfte Betonwiderlager erforderlich. Diese entfallen bei der beschriebenen Verbindungstechnik und Gestaltung der Formteile (siehe Praxisbeispiele im 4. Kapitel). Des weiteren eignet sich das Rohrsystem ebenfalls für die Verlegung außerhalb des Erdbereiches bis zum Anschluss an die vorhandenen Pumpen und Kondensatoren. Diese werden wie auch notwendige Klappen und Filter mit Bund und Losflansch entsprechend der folgenden Abbildungen angeschlossen. Der Bund wird aus dem Werkstoff GFK hergestellt, der Losflansch ist in der Regel aus Stahl.

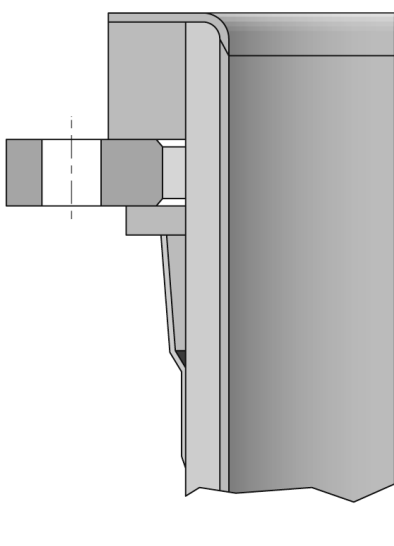


Abb. 6: Bund und Losflansch einer Kühlwasserleitung

Nach dem Verlegen der Kühlwasserleitung in den Rohrgraben, wird dieser wieder mit geeignetem Material verfüllt. In der Regel wird nichtbindiges Material mit einer abgestuften Körnung von 2-8 oder 8-16 verwendet. Diese Verfüllung erfolgt in der Leitungszone (LZ) lagenweise mit einem Verdichtungsgrad $D_{pr} > 95\%$.

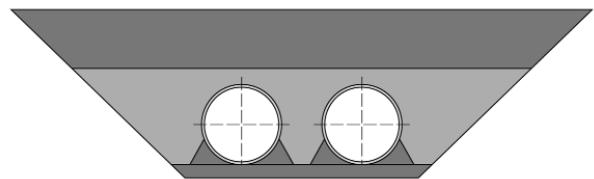


Abb. 7: Querschnitt des Rohrgrabens

4. Praxisbeispiel einer ausgeführten Kühlwasserleitung

Im folgenden werden einige Detaillösungen einer bereits ausgeführten Kühlwasserleitung dargestellt. Darüber hinaus gibt es noch weitere Gestaltungsmöglichkeiten, die individuell auf den jeweiligen Einsatzfall abgestimmt werden.

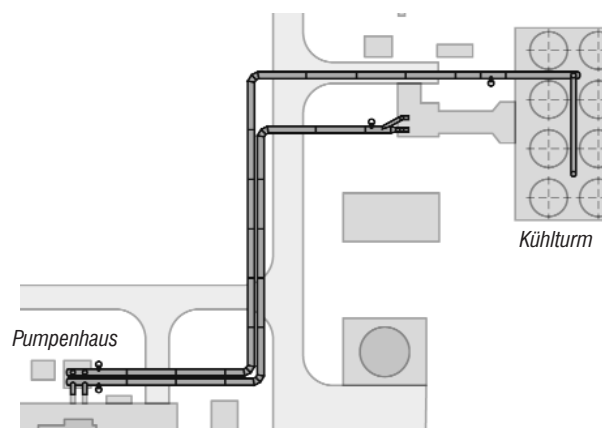


Abb. 8: Rohrverlaufsplan einer Kühlwasserleitung

4.1. Bögen

Die im Leitungsverlauf vorzusehenden Bögen werden bei diesem Rohrdurchmesser grundsätzlich in Segmentbauweise ausgeführt. So lassen sich alle Umlenkungswinkel von 0° bis 180° stufenlos realisieren. Die konstruktive Gestaltung der Bögen bringt eine ausreichende Scheiteldrucksteifigkeit mit sich. Daher kann in der Regel in diesem Bereich auf eine zusätzliche Rippenversteifung verzichtet werden.

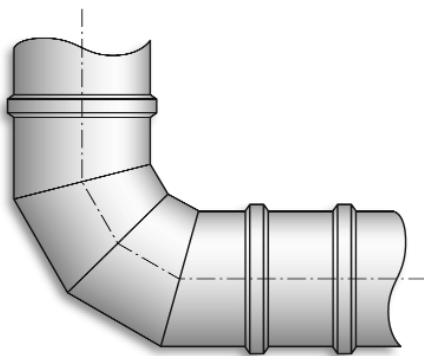


Abb. 9: Bogen in einer Kühlwasserleitung

4.2. Abzweigungen

In den bisher ausgeführten Kühlwasserleitungen war es erforderlich das Leitungsabschnitte zusammengeführt oder getrennt werden. Die einfachste Möglichkeit dieses zu realisieren ist eine Abzweigung mit einem Anschluss unter 90° (T-Stück). Sollte dieses strömungstechnisch oder aus Platzgründen nicht möglich sein, so können auch andere Anschlusswinkel (Y-Stück) ausgeführt werden.

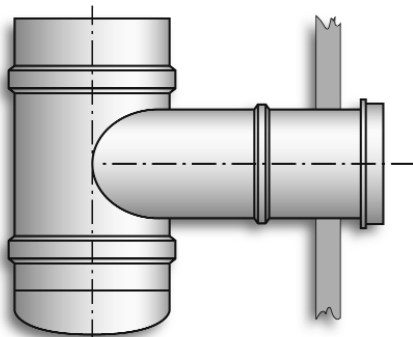


Abb. 10: "T" - Abzweigung

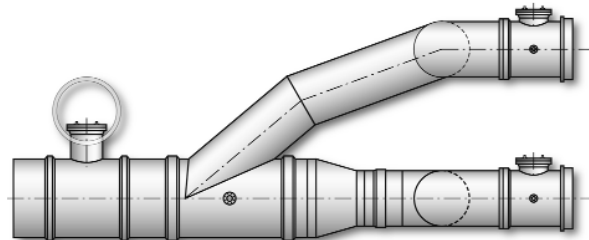


Abb. 11: "Y" - Abzweigung

4.3. Einstiege

In den Kühlwasserleitungen sind grundsätzlich Einstiegsmöglichkeiten zur Besichtigung und Reinigung vorzusehen. Diese werden üblicherweise in den Nennweiten DN 800 oder DN 1000 ausgeführt. Bezüglich der konstruktiven Gestaltung gibt es zwei Ausführungsvarianten, die den gegebenen Umständen angepasst werden können:

Seitlicher Einstieg: An die Kühlwasserleitung wird seitlich unter 90° ein Flanschstutzen mit Blindflansch aus GFK anlamiert. Der Zugang zur Rohrleitungsebene erfolgt über einen separaten Schacht. Hier werden in der Regel Betonschachtringe eingesetzt.

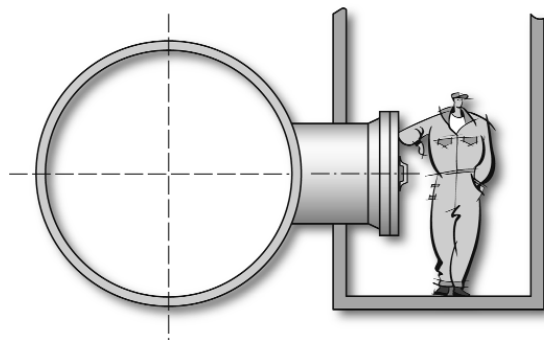


Abb. 12: Seitlicher Einstieg mit Schacht

Vertikaler Einstieg: Der Zugang zur Kühlwasserleitung erfolgt unmittelbar über einen auf dem oberen Rohrscheitel anlamierten Einstieg aus GFK.

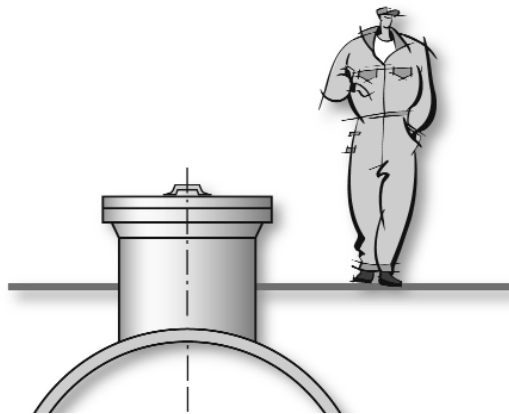


Abb. 13: Vertikaler Einstieg

Die Einstiege befinden sich üblicherweise nicht im Bereich von Verkehrswegen. Sollte dieses jedoch der Fall sein, so ist durch geeignete bautechnische Maßnahmen dafür zu sorgen, dass keine Einzellasten aus der Verkehrslast unmittelbar auf die Kühlwasserleitung einwirken können.

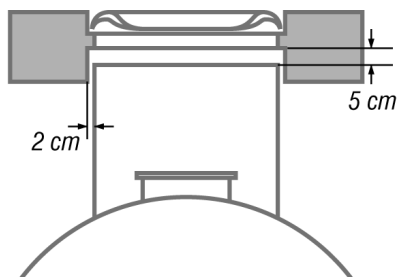


Abb. 14: Ausführungsbeispiel Einstieg mit Verkehrslast [4]

4.4. Anschlüsse für Messgeräte und Armaturen

Zur Sicherstellung der Funktion und Überwachung der verfahrenstechnischen Daten werden Anschlüsse für die entsprechenden Geräte und Rohrleitungen benötigt. Hierzu werden Flanschstutzen in der notwendigen Nennweite an die Kühlwasserleitung anlaminiert. Aufgrund der einfachen Bearbeitbarkeit ist dieses auch nachträglich, selbst nach mehrjähriger Betriebszeit problemlos möglich.

4.5. Rohrabschlußdeckel

Endet ein Rohrleitungsabschnitt nicht unmittelbar an einem weiterführenden Bereich (Maschinen, Kühlturm), so muss das Rohrende druckdicht verschlossen werden. Dieses wird durch das Anlaminiert eines gewölbten Bodens (Klöpfer- oder Korbbogenboden) an das jeweilige Leitungsende erreicht.

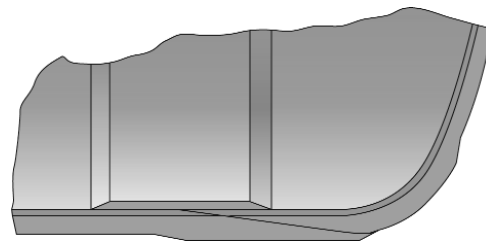


Abb. 15: Anlaminiertes gewölbtes Boden

4.6. Übergang zum Bauwerk aus Beton

Bei der Verlegung und Montage einer Kühlwasserleitung wird der Übergang zu den anderen Gewerken in der Regel durch eine Flanschverbindung realisiert. Eine Ausnahme diesbezüglich stellt der Anschluss zum Kühler (Kühlturm) dar. Hier muss ein Übergang vom GFK-Rohr zum Betonbauwerk geschaffen werden. Als einfachste Lösung zeigte sich in der Vergangenheit das unmittelbare Eingießen des GFK-Rohres in den Beton. Eine weitere Abdichtung erfolgt mittels eines Abschlussflansches, der mit der geeigneten Anzahl Dübel befestigt wird. Das folgende Bild zeigt den Übergang einer Kühlwasserleitung aus GFK zu einem Betonsteigeschachtes eines Kühlers.

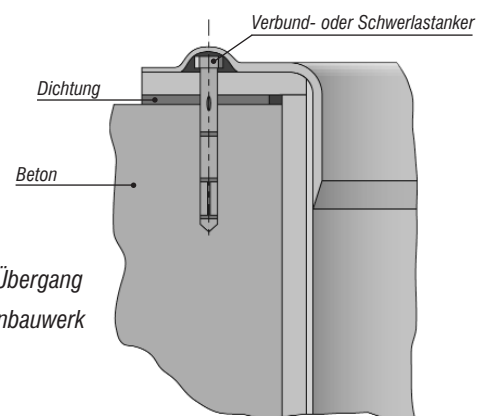


Abb. 16: Übergang zum Betonbauwerk

5. Qualitätssicherungsmaßnahmen

Die Herstellung, Verlegung und Montage der Kühlwasserleitung muß vor allem unter dem Gesichtspunkt der zukünftigen Betriebssicherheit betrachtet werden. Die hierzu notwendigen Qualitätssicherungsmaßnahmen werden in folgenden Bereichen durchgeführt:

- Herstellung der Rohre im Werk
- Herstellung der Verbindungslamine (Bögen usw.) im Werk
- Transport und Montage
- Herstellung der Verbindungslamine auf der Baustelle
- Dichtheitsprüfung

Die einzelnen Prüfschritte werden in dem Qualitäts-Inspektions-Plan (QIP) zusammengefasst und mit entsprechenden Haltepunkte versehen.

5.1. Herstellung der Rohre

Die Rohre werden wie bereits beschrieben im Wickelverfahren hergestellt. Bei dem Wandaufbau der Rohre handelt es sich um ein TÜV-geprüftes Laminat. Der Laminataufbau muss bei der Fertigung durch geeignete Prüfverfahren nachgewiesen und protokolliert werden. Neben den masslichen Kontrollen werden ebenfalls die Festigkeitskennwerte geprüft.

5.2. Herstellung der Verbindungslamine im Werk

Entsprechend den Transportmöglichkeiten werden größere Leitungsabschnitte und Abzweigungen bereits im Werk vormontiert. Der Laminataufbau der dazu notwendigen Verbindungslamine wird in einer Arbeitsanweisung vorgegeben. Die Haftung des Verbindungslamines auf der Rohrwand und die Dicke des Laminates wird geprüft und protokolliert.

5.3. Transport und Montage

Die im Werk vorgefertigten Leitungsabschnitte werden mit Textilgurten angeschlagen und mit geeigneten Hebezeugen verladen. Beim Transport per LKW sind die üblichen Maßnahmen zur Ladungssicherung und Schutz der Rohre vorzusehen.

Nach dem Abladen bzw. vor dem Einbau werden die Rohre visuell nach eventuellen Transportschäden überprüft.

Das Verfüllen des Rohrgrabens nach der Verlegung erfolgt entsprechend der Vorgaben lagenweise mit der anschließenden Verdichtung des Verfüllmaterials. Die Einhaltung des geforderten Verdichtungsgrades wird geprüft und protokolliert.

Nach Abschluss der Arbeiten erfolgt nochmals eine visuelle Überprüfung und Kontrolle der Rundheit der Rohre.

5.4. Herstellung der Verbindungslamine auf der Baustelle

Zur Herstellung der Verbindungslamine auf der Baustelle gelten die gleichen Arbeitsanweisungen und Prüfverfahren wie im Werk. Es muss jedoch besonders auf die klimatischen Bedingungen geachtet werden. An die zu laminierenden Teile darf während der Vorbereitung und Durchführung des Laminates keine Feuchtigkeit (Regen) gelangen. Dies wird durch den Gebrauch eines Montagezeltes oder einer geeigneten Plane vermieden. Auch wenn direkte Feuchtigkeit wie Regen oder Nebel nicht beobachtet wird, kann sich je nach Umgebungsklima auf dem zu laminierenden Teil durch Taupunktunterschreitung ein Feuchtigkeitsfilm bilden. Daher muss während der Lamiertätigkeiten die Umgebungstemperatur und die relative Luftfeuchte ständig überwacht werden. Die Temperatur der Rohroberfläche im Laminatbereich muss mindesten 5 K über der Taupunkttemperatur liegen. Unter Umständen ist ein Aufwärmen erforderlich.

5.5. Dichtheitsprüfung

Mit der Innendruckprüfung wird die Dichtheit der Kühlwasserleitung nachgewiesen. Da es sich um ein längskraftschlüssiges Rohrsystem handelt können Teildruckprüfungen und Gesamtdruckprüfungen durchgeführt werden. Bei Teildruckprüfungen werden die freien Rohrenden durch einen gewölbten Boden verschlossen. Nach erfolgreicher Druckprüfung wird dieser wieder abgeschnitten und das nächste Rohr anlamiert.

- freie Gestaltung der Übergänge zu den vorhandenen Bauwerken und Anlagenkomponenten
- einfache Gestaltung von Abzweigungen und Bögen
- keine Betonwiderlager notwendig
- keine Dichtungen zwischen den Rohren erforderlich
- wartungsfrei

6. Zusammenfassung

Die Kühlwasserleitungen stellen für die konventionellen Kraftwerken, im speziellen auch für die Gas- und Dampfkraftwerke (GuD) ein elementares Bauteil dar. Die montage-technischen Voraussetzungen beim Neubau eines Kraftwerkes, wie auch die Sicherstellung der Verfügbarkeit, stellen komplexe Anforderungen an das Kühlwasserleitungssystem. Hier kann das längskraftschlüssige Rohrsystem aus GFK seine Vorteile unter Beweis stellen:

- keine Korrosionsprobleme aufgrund der bekannten Wasserdampfdiffusion bei beschichteten Systemen [5]
- durchgängig über die gesamte Rohrwand gegen das Medium beständiges Material
- montagefreundlich, da längere Leitungsabschnitte vormontiert und verlegt werden können
- einfachere Transport- und Hebevorgänge aufgrund des geringeren Rohreigengewichtes (ca. 150 kg/m bei DN 2000)
- hohe Festigkeitswerte auch bei höheren Temperaturen
- einfache Nachrüstbarkeit (Stutzen, Verlängerungen, Umbau)
- die für den offen verlegten Bereich wichtige Witterungsbeständigkeit
- korrosionsbeständig im erdverlegten Bereich

Literatur

- [1] HEIN 1997, nach Internetrecherche
- [2] Lux R.:
GFK in Rauchgasreinigungsanlagen,
9. VDI-Jahrestagung Schadensanalyse,
Korrosionsschäden in Kraftwerken,
VDI-Bericht 1333, 1997
- [3] Nonhoff G.:
Auslegung und Berechnung von GFK-Bauteilen
unter Berücksichtigung der speziellen Werkstoff-
kenndaten,
Tagung TÜV Bayern-Sachsen,
19./20.Sept. 1995
- [4] Firmenprospekt Fiberdur-Vanck GmbH:
"Trinkwassertanks zur Erdverlegung"
- [5] Willmes O.:
Materialangriff an Gummierungen und
Beschichtungen
VGB KWT 72 (1992)